

ANÁLISIS DEL USO DE BIOSÓLIDOS PARA LA RECUPERACIÓN DE SUELOS
DEGRADADOS POR PROYECTOS MINEROS QUE SE ENCUENTRAN EN
FASE DE CIERRE Y ABANDONO EN BOGOTÁ D.C.

SAHRA NATHALÍE RINCÓN RINCÓN

C.C. 1.032.442.447

JAIME FERNANDO CEPEDA FLORIÁN

C.C. 1.026.272.824

UNIVERSIDAD LIBRE
FACULTAD DE INGENIERÍA
INSTITUTO DE POSGRADOS
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C., JULIO DE 2015

ANÁLISIS DEL USO DE BIOSÓLIDOS PARA LA RECUPERACIÓN DE SUELOS
DEGRADADOS POR PROYECTOS MINEROS QUE SE ENCUENTRAN EN
FASE DE CIERRE Y ABANDONO EN BOGOTÁ D.C.

SAHRA NATHALÍE RINCÓN RINCÓN

C.C. 1.032.442.447

JAIME FERNANDO CEPEDA FLORIÁN

C.C. 1.026.272.824

Proyecto de grado para optar al título de
ESPECIALISTA EN GERENCIA AMBIENTAL

Asesor:

Ingeniero Julio Cesar Ramírez

UNIVERSIDAD LIBRE
FACULTAD DE INGENIERÍA
INSTITUTO DE POSGRADOS
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C., JULIO DE 2015

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá (08, 05, 2015)

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	7
2. ANTECEDENTES	8
3. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	10
4. JUSTIFICACIÓN	12
5. OBJETIVOS	14
5.1 OBJETIVO GENERAL	14
5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
6. ALCANCE DEL PROYECTO	15
7. METODOLOGÍA	16
7.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	16
7.2 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	16
8. MARCOS DE REFERENCIA.....	20
8.1 MARCO TEÓRICO	20
8.2 MARCO CONCEPTUAL	26
8.3 MARCO NORMATIVO	27
9. RESULTADOS.....	29
10. CONCLUSIONES	56
11. RECOMENDACIONES	57
12. BIBLIOGRAFÍA	58

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Canteras que cuentan con PMRRA.	30
Tabla 2. Especificaciones del Programa de Monitoreo	41
Tabla 3. Características físicas del biosólido	43
Tabla 4. Concentración de metales pesados del biosólido.....	43
Tabla 5. Comparación de resultados concentración de metales pesados de biosólido vs Decreto 1287 de 2014.....	43
Tabla 6. Concentración microbiológica del biosólido.....	44
Tabla 7. Comparación de resultados concentración microbiológica del biosólido vs Decreto 1287 de 2014	44
Tabla 8. Concentraciones físico-químicas del biosólido.....	45
Tabla 9. Tasa Máxima Anual de Aplicación	48
Tabla 10. TMAA en los predios Cantarrana y Ladrillera Helios	49

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.Explotación de cantera de áridos.....	21
Figura 2. Esquema de una corta minera	22
Figura 3.Esquema de una descubierta de carbón.....	23
Figura 4.Localización Cantera Industrial y Minera la Quebrada.	31
Figura 5.Localización Cantera Chircal Libardo Castillo	32
Figura 6.Estado de los taludes finales para el año 2013	34
Figura 7.Localización Ladrillera Helios S.A.	34
Figura 8. Localización Predio Cantarrana	35
Figura 9. Localización Cantera Chircal Hermanos Ortiz Pardo Ltda.	37
Figura 10.Localización Cantera El Cedro.....	38
Figura 11.Localización Cantera El Milagro.....	40
Figura 12.Localización Cantera La Laja.....	42
Figura 13.Escenario 1: Delimitación del predio.	50
Figura 14.Escenario 2: Restricción a 100 metros.....	50
Figura 15.Escenario 3: Restricción a 300 metros.....	51
Figura 16.Escenario 1: Delimitación del predio.	51
Figura 17. Escenario 2 y 3: restricciones a 100 y 300 metros	52
Figura 18. Aplicación biosólido	53
Figura 19. Volqueta tipo.....	55

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, la PTAR El Salitre trata aguas residuales de más de dos millones de habitantes generando sólidos suspendidos, sedimentos, lodos, arenas, grasas, entre otros. Estos lodos reciben una serie de tratamientos con la finalidad de ser convertidos en abono orgánico, el cual dependiendo de su categoría puede tener diferentes alternativas de uso.

Por otra parte, los proyectos mineros producen gran cantidad de impactos ambientales los cuales perduran con el tiempo aún después de finalizado el proceso de extracción. El suelo, la atmósfera, y las aguas superficiales y subterráneas son los principales afectados por este tipo de actividad.

En este contexto se enmarca el presente proyecto, en utilizar los biosólidos generados en la PTAR El Salitre para la recuperación de suelos degradados por proyectos mineros que ya se encuentran en fase de cierre y abandono.

Para realizar lo anterior, primero se hizo un diagnóstico del estado actual de todas las canteras existentes en Bogotá que contaran con Plan de Manejo, Recuperación y Restauración Ambiental (PMRRA). Posteriormente, se analizaron las características físico-químicas y microbiológicas de los biosólidos para su posible utilización.

Por último, se estudió la viabilidad de aplicación de dichos biosólidos en los suelos de las canteras de Bogotá.

2. ANTECEDENTES

A continuación se presentan los antecedentes nacionales e internacionales que se encontraron acerca de las diferentes alternativas de uso de biosólidos, un producto resultante de la estabilización de la fracción orgánica de los lodos generados en el tratamiento de aguas residuales, con características físico-químicas y microbiológicas que permiten su utilización¹.

Nacionales

En Colombia se han realizado estudios con biosólidos, como base de estudio uno de ellos es; Los biosólidos: ¿una solución o un problema?, un artículo escrito en el año 2007 por Juan Alberto Vélez Zuluaga. En este artículo se describen características de los biosólidos, sus contaminantes principales, la producción de estos en el país y algunas experiencias sobre biosólidos en América Latina².

Otro artículo acerca de los biosólidos fue el realizado por el Ingeniero Ambiental y Sanitario Gian Paolo Diagner, titulado Gestión de biosólidos en Colombia. En este artículo se hace un resumen de la situación actual de los biosólidos en el país, sus características físicas y químicas y las compara con las de Estados Unidos y la Unión Europea, presenta unas alternativas de aprovechamiento y la normatividad ambiental relacionada para la fecha de estudio (2003)³.

En el año 2004 en la Escuela de Ingeniería de Medellín, se realizó el estudio denominado: Factibilidad de disposición de los biosólidos generados en una planta

¹ COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Decreto 1287 (10, Julio, 2014). Por el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento residuales municipales. Diario Oficial. Bogotá D.C. 2014. p 2.

² VÉLEZ ZULUAGA, Juan Alberto. Los biosólidos: ¿una solución o un problema?. Medellín: Producción + Limpia. Vol 2. No. 2 2007. 15 p.

³ DÁGUER G. Op. Cit., 7p.

de tratamiento de aguas residuales combinada. Este estudio se propuso determinar la factibilidad de disposición de los biosólidos provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales San Fernando, considerándolos como potenciales rehabilitadores de suelos degradados y como materiales de compostaje⁴.

Internacionales

En Chile, se realizó el estudio sobre alternativas de uso y disposición de biosólidos y su impacto en las tarifas de agua. En este estudio se analizaron distintos usos que pueden tener los biosólidos, su valorización económica y los aspectos técnico-legales que restringen su uso. Algunos usos que tienen una gran opción de ser proyectos rentables y sustentables ambientalmente son: aplicación a suelo como abono, fertilizante o compost, para predios agrícolas y forestales; la valorización energética a través de un incinerador para biosólidos o la coincineración de estos en plantas termoeléctricas, convirtiéndose en una fuente de energía renovable; y la valorización para la fabricación de ladrillos, la cual permitiría utilizar biosólidos como materia prima para la construcción de estos⁵.

⁴ QUINCHÍA, Adriana María y CARMONA, Dora María. Factibilidad de disposición de los biosólidos generados en una planta de tratamiento de aguas residuales combinada. Medellín: Revista EIA. 2004. 20 p.

⁵ RÁMILA GARRIDO, Javiera Ignacia y ROJAS BROCKWAY, Sebastián Ignacio. Alternativas de uso y disposición de biosólidos y su impacto en las tarifas de agua. Santiago de Chile. 2008. 166 p.

3. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Una de las principales problemáticas ambientales en Bogotá es la explotación minera de canteras, las cuales causan impactos negativos a la ciudad, tales como la desaparición de nacimientos de cuerpos de agua, bosques, zonas de recarga de acuíferos, nacederos de manantiales, escasez de tierras aptas para la agricultura, afectación del paisaje, erosión de suelos, perjuicio en la salud de los habitantes, entre muchos otros.

Cuando los minerales a explotar se agotan, el costo de la extracción es muy alto o no se cuenta con título minero, las canteras entran en fase de cierre y abandono. Al llegar a esta etapa, estas deberían encontrarse en proceso de recuperación morfológica y ambiental, no obstante la mayoría son abandonadas por falta de recursos para su readaptación.

Según reportes de la Secretaría Distrital de Ambiente⁶, actualmente en Bogotá existen 109 predios afectados por la explotación minera, sin embargo, tan sólo cuatro cuentan con título minero. Uno de estos se encuentra ubicado en la localidad de Ciudad Bolívar, el cual cuenta con Licencia Ambiental y los otros tres terrenos se localizan en la localidad de Usme contando con un Plan de Manejo Ambiental.

Los 105 predios restantes se encuentran en estado de suspensión al no tener título minero, debido a que están ubicados en una zona no compatible, no obstante, dos de estos están explotando de manera ilegal. De estos 105 predios, solamente ocho cuentan con Plan de Manejo, Recuperación y Restauración Ambiental (PMRRA), lo que implica el alto grado de deterioro de estos terrenos.

⁶ SECRETARIA DISTRITAL DE AMBIENTE. Relación visitas y conceptos técnicos de las organizaciones con predios afectados por la actividad extractiva de materiales de construcción. Perímetro urbano de Bogotá D.C. Bogotá D.C. 31 de Julio de 2014.

Al observar que más del 90% de los suelos de canteras de explotación minera están degradados se busca una solución por medio del uso de biosólidos, un producto generado después de un proceso de estabilización de lodos orgánicos provenientes del tratamiento de aguas residuales domésticas, el cual puede ser utilizado para recuperar suelos afectados por la actividad antrópica, Dáguer⁷.

La planta de tratamiento de aguas residuales El Salitre generó en el mes de mayo de 2014 más de 3,000 t/mes de biosólidos, realizando el aprovechamiento total de este residuo, el cual se mezcló en proporción 1:1 con el suelo del predio el Corzo I (capa de mezcla: 1m) mejorando la cobertura vegetal de 6,300 m² de suelo⁸. No obstante, cuando dicho predio ya se haya regenerado, la producción de biosólidos no tendrá ningún uso en específico, por lo que se pueden utilizar para la recuperación de suelos degradados por la explotación minera de canteras.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Es ambientalmente viable utilizar biosólidos para la recuperación de suelos degradados por proyectos mineros que se encuentran en fase de cierre y abandono?

⁷ DÁGUER, Gian Paolo. Gestión de biosólidos en Colombia. Bogotá. 46° Congreso Internacional de Acodal. 2003. 7 p.

⁸ EMPRESA DE ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO Y ASEO DE BOGOTÁ. Planta de tratamiento de aguas residuales El Salitre. Informe mensual de actividades. Bogotá. 2014. p. 60.

4. JUSTIFICACIÓN

La creciente contaminación de los cuerpos hídricos, principalmente por la industria, ha llevado a que se adopten medidas para el control y mitigación de los impactos ambientales generados por este aspecto ambiental. Una de las medidas está dada por las plantas de tratamiento de aguas residuales, en las cuales se llevan a cabo tratamientos primarios, secundarios y en algunos casos terciarios.

Durante el tratamiento de las aguas se generan algunos subproductos, entre ellos los denominados lodos (líquido con contenido de sólidos en suspensión sin ningún tipo de tratamiento) que luego de ser sometidos a diferentes procesos para reducir su carga contaminante da como resultado un producto conocido como Biosólido.

La gran cantidad de biosólido que se genera en las plantas de tratamiento de aguas residuales, sumado a los problemas y costos generados para su disposición final, hizo necesario que se empezaran a buscar soluciones y alternativas para disponer el biosólido, que solucionaran dichos problemas y a su vez generaran beneficios ambientales a partir de sus características físicas, químicas y microbiológicas.

Hasta hace poco Colombia no contaba con una ley que regulara el uso o aprovechamiento de biosólidos, el manejo y clasificación de estos se realizaba con base en lo establecido por la Agencia de Protección Ambiental (más conocida como EPA por sus siglas en inglés). El 10 de Julio del año 2014 el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio expidió el Decreto 1287, por el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales. Lo cual permite aprovechar los biosólidos en actividades que generan beneficios medioambientales. Uno de los aprovechamientos que establece el Decreto es la recuperación, restauración o mejoramiento de suelos degradados.

En la ciudad de Bogotá una de las principales causas de degradación de suelos es la explotación de canteras, las cuales remueven gran cobertura de capa vegetal para llevar a cabo su actividad. Una vez finalizada la etapa de explotación, la cantera entra en una fase de cierre y abandono en la cual se hace el cierre respectivo de la cantera.

Las alternativas de estas fases de cierre deben ir de la mano con el plan de ordenamiento territorial municipal, pues en el Decreto 190 de 2004, artículo 358 Recuperación Morfológica y Ambiental, las áreas mineras están sujetas a un plan de recuperación morfológica de los suelos. Una de estas puede ser la agrícola o forestal; los biosólidos poseen características que pueden contribuir para la recuperación de estos suelos que han sido sometidos a procesos de cambio. El uso de biosólidos en esta actividad generará beneficios ambientales, tales como, recuperación de suelos degradados, uso de un material que se consideraba residuo y contribuye con la disminución del impacto ambiental paisajístico. Además, dependiendo de la categoría en la que esté clasificado el biosólido, Categoría A o B, tendrá diferentes alternativas de uso. La utilización de biosólidos hace que no se deba extraer material o remover cobertura vegetal de otro lugar para hacer el cierre de la cantera, lo que logra la reducción de costos e impactos ambientales.

5. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar el uso de biosólidos para la recuperación de suelos degradados por proyectos mineros que se encuentran en fase de cierre y abandono en Bogotá D.C.

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el estado actual de las canteras de minería que se encuentran en fase de cierre y abandono, por medio de un diagnóstico.
- Analizar las características fisicoquímicas y microbiológicas de los biosólidos de la PTAR El Salitre para su posible utilización.
- Analizar la viabilidad de la aplicación de biosólidos en los suelos de las canteras de Bogotá.

6. ALCANCE DEL PROYECTO

El proyecto busca analizar la posibilidad de utilizar los biosólidos generados en la planta de tratamiento de aguas del Salitre, en las canteras de explotación minera que se encuentran en fase de cierre y abandono en la ciudad de Bogotá; con el fin de contribuir con la recuperación de la capa orgánica de suelos que han sido sometidos a procesos de cambio. Adicional a esto, la utilización del biosólido que está reglamentada por el Decreto 1287 de 2014, puede ser una solución para reducir la explotación de otros materiales utilizados para recuperar suelos en dichas canteras y por otro lado una alternativa para la disposición de este material.

7. METODOLOGÍA

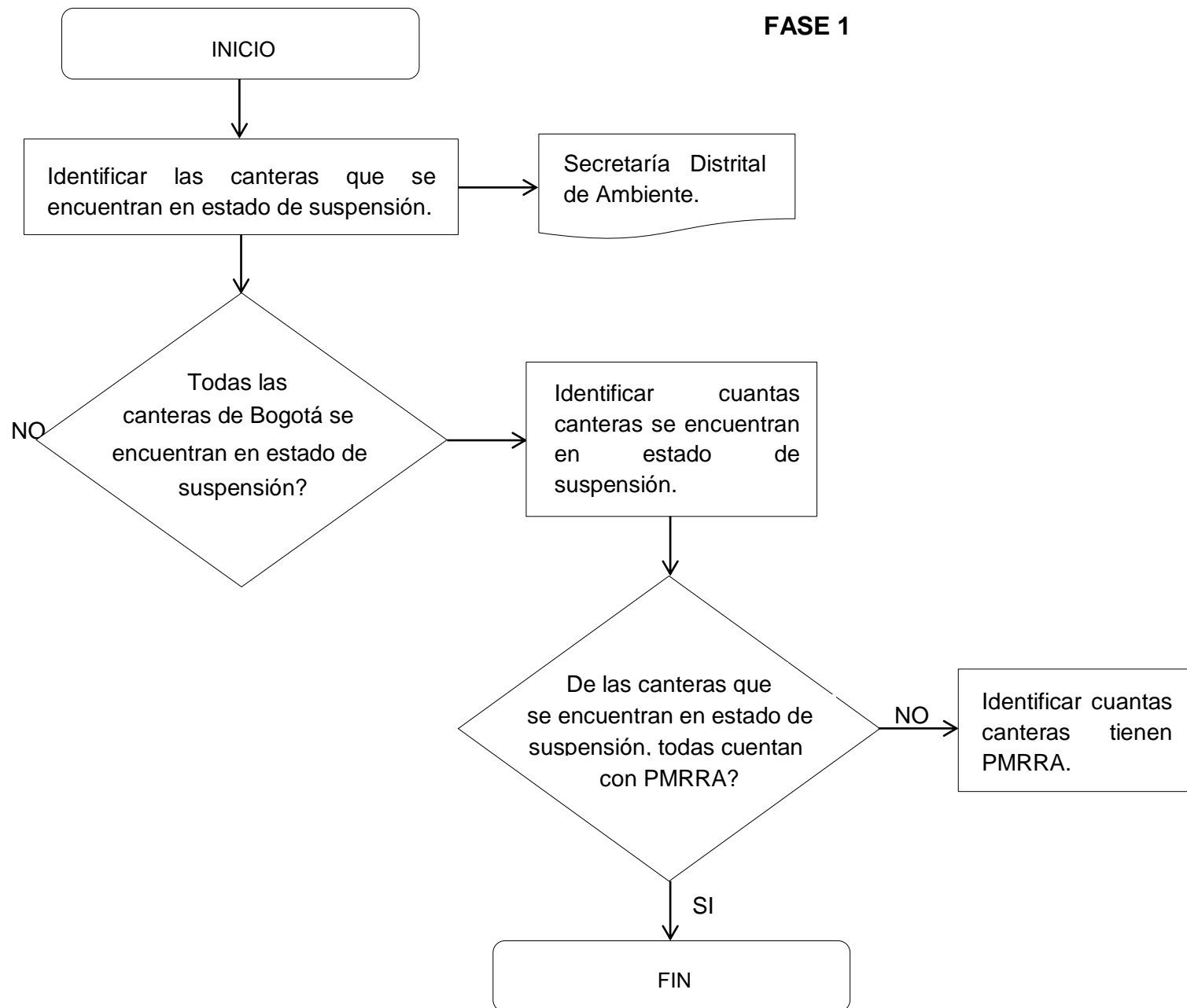
7.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación es de tipo cualitativa ya que se analiza el uso de biosólidos para la recuperación de suelos degradados por proyectos mineros en fase de cierre y abandono en Bogotá D.C., por medio de recolección de datos y literatura.

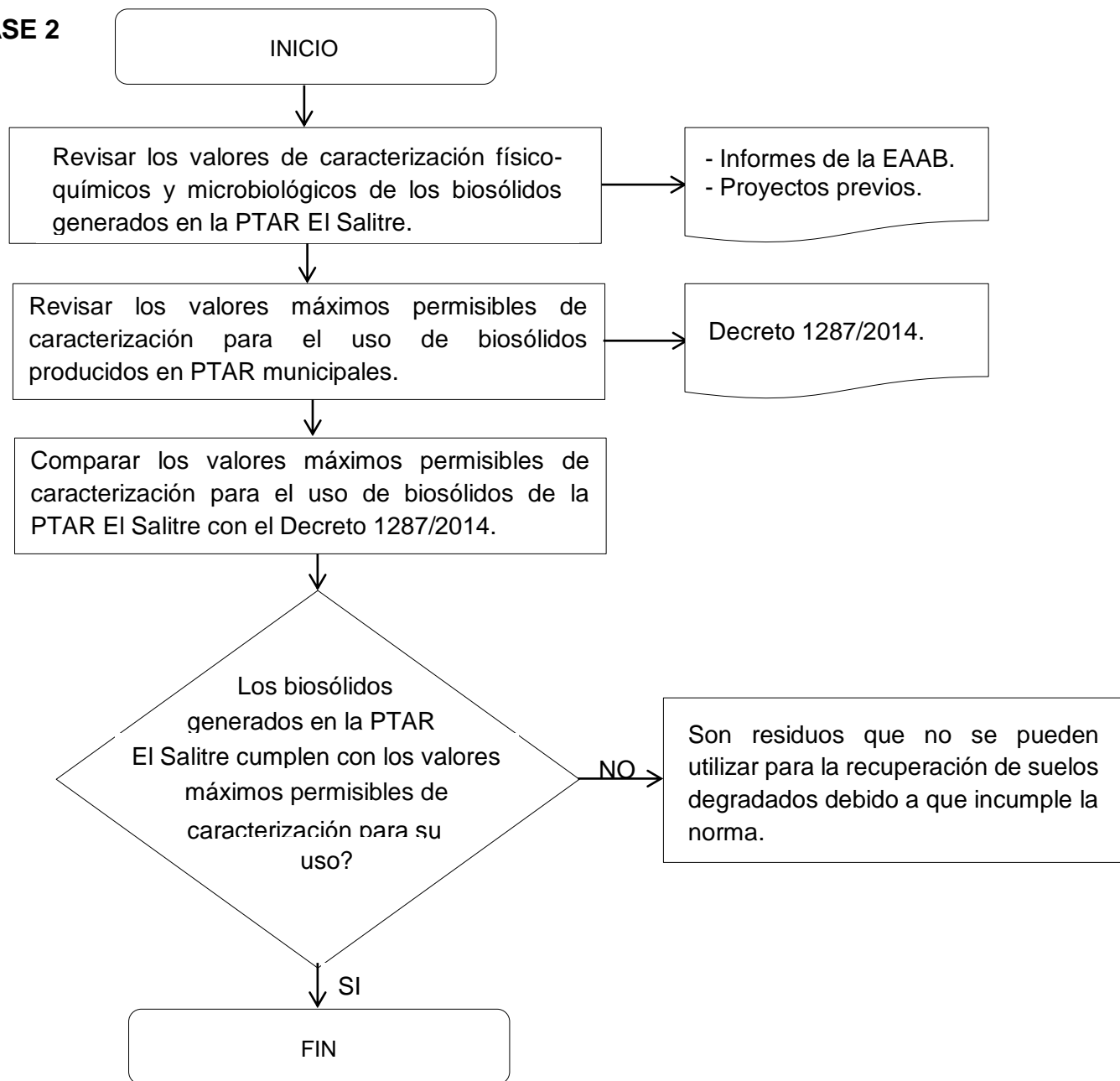
7.2 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

La metodología de este proyecto se basó en las siguientes fases:

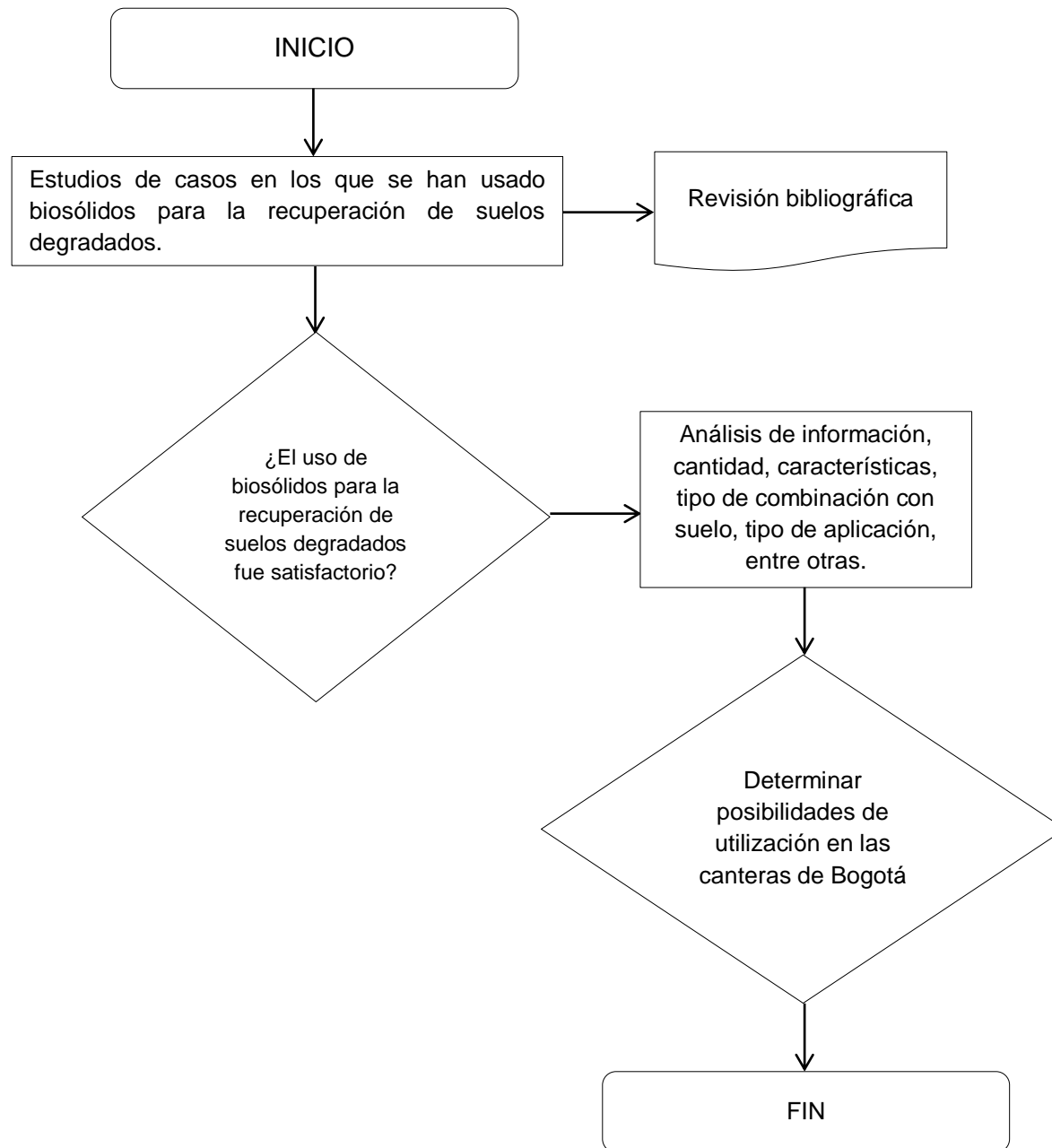
- **Fase 1:** Diagnóstico de las canteras de minería que se encuentran en fase de cierre y abandono.
- **Fase 2:** Análisis de las características de los biosólidos de la PTAR El Salitre.
- **Fase 3:** Análisis de la viabilidad de la aplicación de biosólidos en los suelos de las canteras de Bogotá.



FASE 2



FASE 3



8. MARCOS DE REFERENCIA

Los marcos de referencia muestran diferentes teorías y conceptos de gran importancia para la realización de este proyecto. Los siguientes son los marcos aplicables al trabajo de grado:

8.1 MARCO TEÓRICO

A continuación se presentan los diferentes tipos de minería a cielo abierto así como los impactos ambientales que estos generan. También se muestra la clasificación de los biosólidos y las alternativas de aprovechamiento de este residuo.

➤ Explotación minera

En el siguiente marco teórico se enseña el concepto de minería a cielo abierto y los diferentes tipos de esta.

Minería a cielo abierto

Proceso de explotación minera que se realiza en la superficie de la tierra, en el que se remueven grandes cantidades de suelo y subsuelo. En muchos de los casos, el mineral a extraer puede estar en cantidades muy bajas en comparación con la capa vegetal y subsuelo removidos. Para el desarrollo de esta actividad es necesario que el yacimiento abarque grandes extensiones, utilizando maquinaria y explosivos para retirar gran cantidad de tierra, creando enormes cráteres que pueden llegar a ocupar más de 100 ha y alcanzar de 200 a 800 m de profundidad. Normalmente, se construyen rampas en forma de espiral para que los camiones puedan subir con el mineral desde el fondo del yacimiento.

Principales tipos de minería a cielo abierto

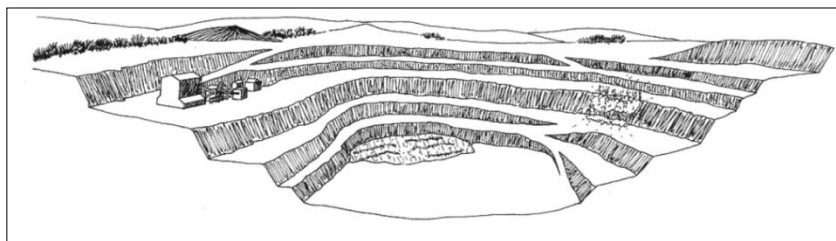
- Canteras: Término que se utiliza para la explotación de rocas industriales, ornamentales y de materiales de construcción. Constituye el sector más importante en cuanto a número, ya que desde la antigüedad se ha venido utilizando esta técnica para la extracción y abastecimiento de materias primas para construcción y obras de infraestructura.

El método de explotación utilizado suele ser el de banqueo, con uno o varios niveles, situándose un gran número de canteras a media ladera.

Las canteras se pueden dividir en dos grupos:

- ✓ Se desea obtener un todo-uno fragmentado, apto para alimentar a las plantas de tratamiento y obtener un producto destinado a la construcción en forma de áridos, a la fabricación de cemento, etc., tal y como se muestra en la figura 1. En este tipo de canteras la extracción no es cuidadosa y se dan grandes alturas de banco.
- ✓ Explotación cuidadosa de grandes bloques paralelepípedicos, que posteriormente se cortan y elaboran. Se caracterizan por el gran número de bancos que se abren para arrancar los bloques y la maquinaria especial con que se obtienen planos de corte limpios.

Figura 1. Explotación de cantera de áridos.

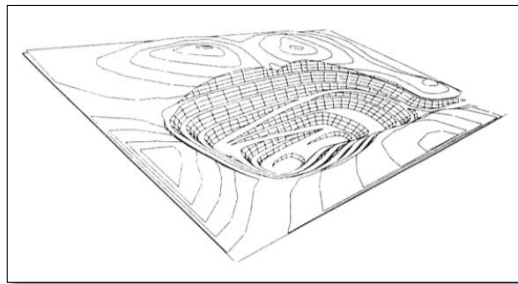


Fuente. Métodos de minería a cielo abierto, 2006

- Cortas: Explotación en yacimientos masivos o de capas inclinadas que se lleva a cabo tridimensionalmente por banqueo descendente, con secciones verticales en forma troncocónica. Este método es utilizado usualmente para la minería metálica.

La extracción en cada nivel se realiza en un banco con uno o varios tajos. Debe existir un desfase entre bancos con el fin de disponer de unas plataformas de trabajo mínimas para que operen los equipos a su máximo rendimiento y en condiciones de seguridad. La profundidad de estas explotaciones suele ser de aproximadamente 300 m o más y su vida útil puede superar los 15 ó 20 años. La siguiente figura muestra el esquema de una corta minera.

Figura 2. Esquema de una corta minera

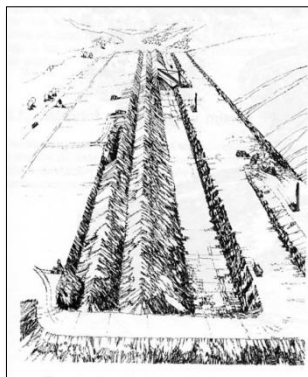


Fuente. Métodos de minería a cielo abierto, 2006

- Descubiertas: Explotación en yacimientos tumbados u horizontales, con recubrimientos de estéril inferiores, por lo general a los 50 m. Este método consiste en el avance unidireccional de un módulo con un solo banco desde el que se efectúa el arranque del estéril y vertido de este al hueco de las fases anteriores. El mineral es entonces extraído desde el fondo de la explotación, que coincide con el muro del depósito⁹. En la figura 3 se puede observar la explotación por descubiertas.

⁹ HERRERA HERBET, Juan. Métodos de minería a cielo abierto. Madrid. 2006. p. 7-10.

Figura 3. Esquema de una descubierta de carbón



Fuente. Métodos de minería a cielo abierto, 2006

Impactos ambientales generados por la minería a cielo abierto

El impacto ambiental negativo que genera este tipo de actividades depende de la extensión y de la ubicación del terreno explotado, sobre todo en lo que respecta a condiciones climáticas, regionales y de infraestructura. Los principales efectos ambientales de la minería a cielo abierto son:

- Devastación y alteración de la morfología del suelo.
- Erosión de suelos.
- Afectación y deterioro de aguas superficiales y subterráneas.
- Alto grado de ruido y vibraciones.
- Destrucción de flora en el área de explotación.
- Desplazamiento de fauna.

➤ Clasificación de biosólidos

El Decreto 1287 de 2014, clasifica el biosólido en 2 clases, de las cuales se encuentra una definición aproximada a continuación.

- Biosólido clase A: Son llamados de calidad excepcional. Presentan una densidad de coliformes fecales inferior a 1,000 NMP por gramo de sólidos

totales o la densidad de *Salmonella sp.* es inferior a 3 NMP por 4 gramos de sólidos totales. La densidad de virus entéricos debe ser menor o igual a 1 UFC por 4 gramos de sólidos totales y los huevos viables de helmintos inferiores a 1 por 4 gramos de sólidos totales.

Un biosólido con estos niveles que además tenga tratamiento para reducir vectores, no tendrá restricciones en su aplicación agraria y sólo será necesario solicitar permisos para garantizar que estas normas hayan sido cumplidas.

- Biosólido clase B: Presentan una densidad de coliformes fecales inferior a 2×10^6 NMP por gramo de sólidos totales o 2×10^6 UFC por gramo de sólidos totales. Este tipo de biosólidos deberá recibir tratamiento y será el que mayores restricciones presente para uso agrícola.

Además, la citada regla que rige el uso y eliminación de biosólidos establece límites cuantitativos relativos al contenido de metales presentes en ellos, normas de reducción de agentes patógenos, restricciones a los sitios de aplicación, condicionantes y supervisión de recolección de cultivos tratados, mantenimiento de registros y requerimientos de presentación de informes sobre biosólidos aplicados a la tierra, así como disposiciones similares para los que se desechan en rellenos sanitarios. Los biosólidos que son incinerados tienen que satisfacer las normas relativas al contenido de metales y las disposiciones sobre emisiones que liberan al medio ambiente¹⁰.

¹⁰ ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Clasificación de biosólidos, Citado por VÉLEZ ZULUAGA, Juan Alberto. Los biosólidos: ¿una solución o un problema?. Medellín: Producción + Limpia. Vol 2. No. 2 2007. p. 60.

Alternativas de aprovechamiento de los biosólidos

La disposición final o incineración de biosólidos deben ser las últimas opciones a contemplar. No obstante, en países donde no se cuenta con terrenos para el aprovechamiento, estas medidas se convierten en la única elección.

La gestión de biosólidos debe contemplar la mayor cantidad de opciones de aprovechamiento, en caso de que el lugar de recepción se colme o no necesite de más material.

Las alternativas de aprovechamiento de los biosólidos son:

- a. En agricultura, se aplicará al suelo.
- b. En plantaciones forestales.
- c. En la recuperación, restauración o mejoramiento de suelos degradados.
- d. Como insumo en procesos de elaboración de abonos o fertilizantes orgánicos o productos acondicionadores para suelos a través de tratamientos físicos, químicos y biológicos que modifiquen su calidad original. Los procesos de elaboración y características de los productos finales y su uso, queda sujeto a la regulación establecida por el ICA.
- e. Para remediación de suelos contaminados, lechos biológicos para el tratamiento de emisiones y vertimientos, soporte físico y sustrato biológico en sistemas de filtración, absorción y adsorción.
- f. Como insumo en la fabricación de materiales de construcción.
- g. En la estabilización de taludes de proyectos de la red vial nacional, red vial secundaria o terciaria.
- h. En la operación de rellenos sanitarios como: cobertura diaria, cobertura final de cierre y de clausura de plataformas y en actividades de revegetalización y paisajismo.
- i. Actividades de revegetalización y paisajismo de escombreras.
- j. En procesos de valorización energética.

8.2 MARCO CONCEPTUAL

Biosólido

Producto resultante de la estabilización de la fracción orgánica de los lodos generados en el tratamiento de aguas residuales municipales, con características físicas, químicas y microbiológicas que permiten su uso.

No son biosólidos las escorias y cenizas producto de la oxidación o reducción térmica de lodos, así como los residuos que se retiran de los equipos e instalaciones de la fase preliminar del tratamiento de aguas residuales, ni los provenientes de dragados o de limpieza de sumideros¹¹.

Restauración, mejoramiento o recuperación de suelos degradados

Aplicación de medidas con el fin de corregir los procesos de degradación del suelo; iniciar o acelerar la recuperación de suelos degradados como resultado de actividades humanas o por causas naturales; o restablecer parcialmente los elementos estructurales, funciones o servicios ecosistémicos del suelo¹².

Suelos degradados

Son aquellos que por actividades antrópicas o por fenómenos naturales han sufrido un proceso de pérdida de material superficial, pérdida de nutrientes o pérdida de su estructura original, afectando la capacidad de soporte de la vegetación preexistente o de los cultivos. Son suelos degradados también aquellos donde ha ocurrido desaparición de la vegetación natural o implantada y en los que se incrementa la vulnerabilidad del suelo a procesos de degradación¹³.

¹¹ COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Decreto 1287 (10, Julio, 2014). Por el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento residuales municipales. Diario Oficial. Bogotá D.C. 2014. p 2.

¹² *Ibíd.*, p. 3.

¹³ *Ibíd.*, p. 3.

8.3 MARCO NORMATIVO

En el país se cuenta con el Decreto 1287 de 2014¹⁴, mediante el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales. A partir de este Decreto se tomarán las pautas para determinar la categoría de los biosólidos y sus respectivas alternativas de aprovechamiento.

La Ley 685 de 2001¹⁵, por la cual se expide el Código de Minas y se dictan otras disposiciones. En el artículo 84, numeral 11 se establece el plan de cierre de la explotación y abandono de los montajes y de la infraestructura, el cual hace parte del programa de trabajo y obras que se presentará ante la autoridad concedente y se anexará al contrato como parte de las obligaciones.

En el Decreto 2041 de 2014, el Artículo 41 reglamenta la fase de desmantelamiento y abandono. Cuando un proyecto, obra o actividad requiera o deba iniciar su fase de desmantelamiento y abandono, el titular deberá presentar a la autoridad ambiental competente, por lo menos con tres (3) meses de anticipación, un estudio que contenga como mínimo:

- a) La identificación de los impactos ambientales presentes al momento del inicio de esta fase.
- b) El plan de desmantelamiento y abandono; el cual incluirá las medidas de manejo del área, las actividades de restauración final y demás acciones pendientes.
- c) Los planos y mapas de localización de la infraestructura objeto de desmantelamiento y abandono.
- d) Las obligaciones derivadas de los actos administrativos identificando las

¹⁴ Ibid., p. 1-15.

¹⁵ COLOMBIA. CONGRESO DE COLOMBIA. Ley 685. (15, agosto, 2001). Por la cual se expide el código de minas y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2001. P 1-40.

pendientes por cumplir y las cumplidas, adjuntando para el efecto la respectiva sustentación.

e) Los costos de las actividades para la implementación de la fase de desmantelamiento y abandono y demás obligaciones pendientes por cumplir.

La autoridad ambiental en un término máximo de un (1) mes verificará el estado del proyecto y declarará iniciada dicha fase mediante acto administrativo, en el que dará por cumplidas las obligaciones ejecutadas e impondrá el plan de desmantelamiento y abandono que incluya además el cumplimiento de las obligaciones pendientes y las actividades de restauración final¹⁶.

¹⁶ COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Decreto 2820. (5, agosto, 2010). Por el cual se reglamente el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2010. p. 1-26.

9. RESULTADOS

➤ **DIAGNÓSTICO DE LAS CANTERAS DE MINERÍA QUE SE ENCUENTRAN EN FASE DE CIERRE Y ABANDONO.**

A mediados del 2014 la Secretaría Distrital de Ambiente tenía reportado en Bogotá 109 predios afectados por la explotación minera. De estos 109 predios tan solo cuatro estaban operando legalmente, una cantera en la localidad de Ciudad Bolívar contaba con Licencia Ambiental y las otras tres ubicadas en Usme contaban con Plan de Manejo Ambiental.

Los 105 terrenos restantes se encontraban cerrados al no tener título minero debido a que estaban ubicados en una zona no compatible. Ocho de estos 105 predios contaban con Plan de Manejo, Recuperación y Restauración Ambiental (PMRRA).

Actualmente, la situación no ha cambiado de manera significativa, ya no son 109 predios los que están afectando al ambiente por la actividad minera sino 107 predios, pues la cantera Santa Rita – Sector Cerros del Diamante y la cantera Santa Rita – Sector Ismael Perdomo de Ciudad Bolívar están presentando una afectación por remoción en masa por tal motivo ya no requiere de PMRRA y pasa a ser tema de investigación del FOPAE ahora IDIGER.

De estos 107 predios, cinco cuentan con título minero y los 102 restantes se encuentran en fase de cierre y abandono. No obstante, de estos 102 terrenos que ya no están en funcionamiento existen ocho que cuentan con PMRRA y diez que están en estudio jurídico y técnico para obtener el PMRRA.

La siguiente tabla muestra las ocho canteras que cuentan con PMRRA:

Tabla 1. Canteras que cuentan con PMRRA.

CANTERA	LOCALIDAD
Cantera Industrial y Minera la Quebrada	Ciudad Bolívar
Chircal Libardo Castillo	Ciudad Bolívar
Ladrillera Helios S.A., anteriormente Ladrillera Famorú Ltda	Usme
Predio Cantarrana	Usme
Chircal Hermanos Ortiz Pardo Ltda	Rafael Uribe Uribe
Cantera El Cedro – San Carlos	Usaquén
Cantera El Milagro	Usaquén
Cantera La Laja	Usaquén

Fuente. Autores del proyecto, 2015

Como ya se dijo anteriormente, son 102 canteras que se encuentran en fase de cierre y abandono y que no cuentan con un PMRRA, por lo tanto están abandonas sin ningún tipo de tratamiento para su recuperación y restauración.

A continuación se detalla el estado actual del PMRRA de las ocho canteras:

1. Cantera Industrial y Minera la Quebrada – Ciudad Bolívar.

Información General: En el barrio Villa Gloria, perteneciente a la localidad de Ciudad Bolívar, se encuentra ubicada la cantera industrial y minera la quebrada, a la cual mediante la Resolución No. 6948 de diciembre de 2011 se le estableció un Instrumento Administrativo de Manejo y Control Ambiental Plan de Manejo, Recuperación y Restauración PMRRA.

Concepto Técnico: Mediante la Resolución No. 02467, se impone medida preventiva consistente en la suspensión de actividades de ejecución del Instrumento Administrativo de Manejo y Control Ambiental Plan de Manejo Recuperación y/o Restauración Ambiental, lo anterior debido al incumplimiento de las medidas establecidas por la autoridad ambiental, en el siguiente sentido:

- En la cantera no hay presencia permanente de personal idóneo que dé instrucciones para llevar a cabo las obras del Plan de Manejo, Recuperación y Restauración Ambiental.
- Se realiza la extracción de material de la base de taludes constituidos por material suelto, lo que genera inestabilidad hacia la parte superior del talud.
- Se genera riesgo laboral para los operarios que trabajan en la parte inferior del talud.
- No hay obras para manejar las aguas de escorrentía en las zonas donde se desarrollan actividades de movimiento de materiales.
- No se desarrollan los programas de revegetalización y manejo paisajístico, remoción y manejo de cobertura vegetal y de suelos orgánicos; lo anterior genera un impacto ambiental paisajístico negativo.

En la siguiente figura se puede apreciar la localización de la Cantera Industrial y Minera la Quebrada.

Figura 4. Localización Cantera Industrial y Minera la Quebrada.



Fuente. Google maps, 2015

2. Chircal Libardo Castillo – Ciudad Bolívar.

A la fecha de elaboración del informe, el expediente correspondiente a la cantera Chircal Libardo Castillo se encuentra en evaluación y seguimiento por parte de la Autoridad Ambiental, por lo tanto no está disponible para su consulta. La figura 5 muestra la localización de la cantera Chircal Libardo Castillo.

Figura 5. Localización Cantera Chircal Libardo Castillo



Fuente. Google maps, 2015.

3. Ladrillera Helios S.A., anteriormente Ladrillera Famorú Ltda – Usme.

Información General: El predio de la Ladrillera Helios S.A. anteriormente Ladrillera Famorú Ltda., se encuentra ubicado en el perímetro urbano de Bogotá, por fuera de las zonas compatibles con la minería establecidas en el Artículo 4 de la Resolución 222 del 3 de Agosto de 1994 y en áreas de suspensión de actividad minera de recuperación morfológica, paisajística, ambiental y urbanística según el Artículo 354 del Decreto 190 del 22 de Junio de 2004.

Concepto Técnico: El 24 de febrero de 2014, la Secretaría Distrital de Ambiente emitió el concepto técnico de seguimiento No. 01625 para evaluar los informes de avance y cumplimiento del Plan de Manejo, Recuperación y Restauración Ambiental – PMRRA del primer y segundo semestre de 2013.

En dicho concepto se reportan las actividades programadas y cumplidas del PMRRA para el primer semestre de 2013, siendo las siguientes:

- Extensión de capa orgánica: Se realizó el extendido de 1272 m³ de descapote con semillas para complementar la empradización de los taludes de finales y las bermas de la planta Helios 5.
- Reforestación de zonas rehabilitadas: En el primer semestre se realizó la siembra de 169 espinos, 74 hayuelos y 66 especies de chicalá en los taludes recuperación de la planta Helios 5, para un total de 309 especies nativas sembradas en tres bolillos. Programado: 1400 plántulas.

Ejecutadas: 309 plántulas.

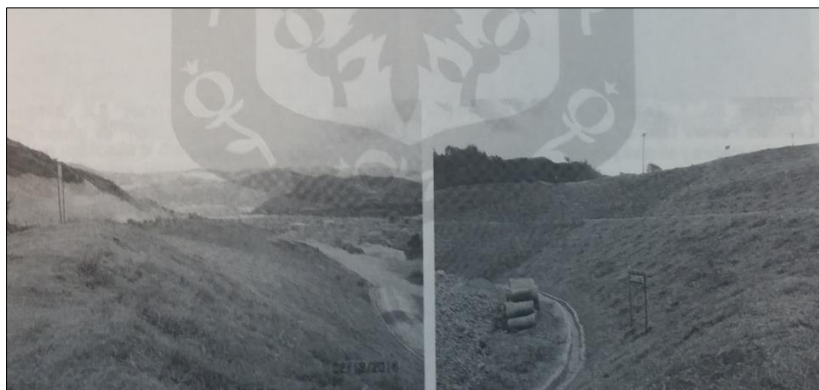
- Mantenimiento de reforestación y revegetalización: Se realizó el riego de los taludes de la planta Helios 5 revegetalizados y las especies sembradas. Para esta actividad se requirió 222 m³ de agua y como actividad complementaria se realizó riego manual de jardines.

Las actividades programadas y cumplidas para el segundo semestre de 2013 fueron:

- Extensión de capa orgánica: Se realizó la fertilización de los taludes, para lo cual se requirió 1040 kg de compostaje y 208,5 L de aditivos líquidos orgánicos (lixiviados).

- Reforestación de zonas rehabilitadas y mantenimiento de reforestación y revegetalización: Se realizó la siembra de 289 espinos y 258 hayuelos y el riego de las áreas rehabilitadas. Se podaron los árboles ubicados en el costado de la oficina de la planta 5 (Figura 6).

Figura 6.Estado de los taludes finales para el año 2013



Fuente. Expediente DM-06-02-535. Secretaría Distrital de Ambiente.

En la siguiente figura se puede observar la localización de la Ladrillera Helios S.A., y como este predio afecta de manera negativa el entorno que lo rodea.

Figura 7.Localización Ladrillera Helios S.A.



Fuente. Google maps, 2015.

4. Predio Cantarrana – Usme.

A la fecha de elaboración del informe, el expediente correspondiente a la cantera del predio Cantarrana se encuentra en evaluación y seguimiento por parte de la Autoridad Ambiental, por lo tanto no está disponible para su consulta. La figura 8 muestra la localización del Predio Cantarrana.

Figura 8. Localización Predio Cantarrana



Fuente. Google maps, 2015.

5. Chircal Hermanos Ortiz Pardo Ltda – Rafael Uribe Uribe.

Información General: En la localidad número 18 de la ciudad de Bogotá (Rafael Uribe Uribe), está ubicado el predio del antiguo Chircal Hermanos Ortiz, el cual se encuentra por fuera de las zonas compatibles con la actividad minera, que fueron establecidas en el Artículo Cuarto de la Resolución No. 222 de 1994 del entonces Ministerio del Medio Ambiente (hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible-MADS), y en zonas de reconfiguración morfológica, paisajística y/o ambiental de áreas afectadas por actividad extractiva (Numeral 2 del Artículo 123 del Decreto No. 364 de 2013 –POT de Bogotá D.C.).

Concepto Técnico: El concepto técnico No. 08826 del 27 de noviembre de 2013, fue emitido por la Secretaría Distrital de Ambiente y tuvo como objeto realizar la visita de control ambiental al sector de un predio afectado por la antigua actividad extractiva de arcillas del antiguo Chircal Hermanos Ortiz Pardo, propiedad de la Constructora Bolívar S.A.

A continuación se presentan los principales problemas ambientales derivados de la explotación que se llevó a cabo en dicho predio:

- La morfología del terreno es altamente susceptible a erosión y a procesos de remoción en masa, existe la posibilidad de caída de bloques, deslizamientos y flujos de tierras.
- En cuanto al componente hídrico, no se tiene evidencia de la implementación de obras o medidas para el manejo de las aguas de escorrentía provenientes de los antiguos frentes de explotación minera. Lo anterior es un factor generador de procesos erosivos y de remoción en masa.
- En las áreas en las que se realizaron labores de beneficio y transformación de arcilla, se evidenciaron emisiones de material particulado debido a la acción del viento.
- Existe un impacto visual negativo al tener pérdida de los elementos que interactúan con los componentes biótico y paisajístico. Al no realizar actividades de empradización y reforestación se disminuye la aparición de especies de fauna y flora.

A continuación se muestra el mapa de localización de la cantera Chircal Hermanos Ortiz Pardo Ltda.

Figura 9. Localización Cantera Chircal Hermanos Ortiz Pardo Ltda.



Fuente. Google maps, 2015.

6. Cantera El Cedro – San Carlos – Usaquén.

Información General: El predio de la cantera El Cedro - San Carlos se encuentra localizado en un lugar fuera de la zona compatible con la actividad minera, conforme a lo establecido en la Resolución MAVDT 1197 de 2004 y a su ubicación fuera de los Parques Minero Industrial del Distrito Capital, según lo establece el Decreto Distrital No. 190 de 2004.

Concepto Técnico: El 22 de junio de 2010, la Secretaría Distrital de Ambiente emitió el concepto técnico No. 10182 para evaluar el complemento del Plan de Manejo, Recuperación y Restauración Ambiental – PMRRA de la Cantera El Cedro.

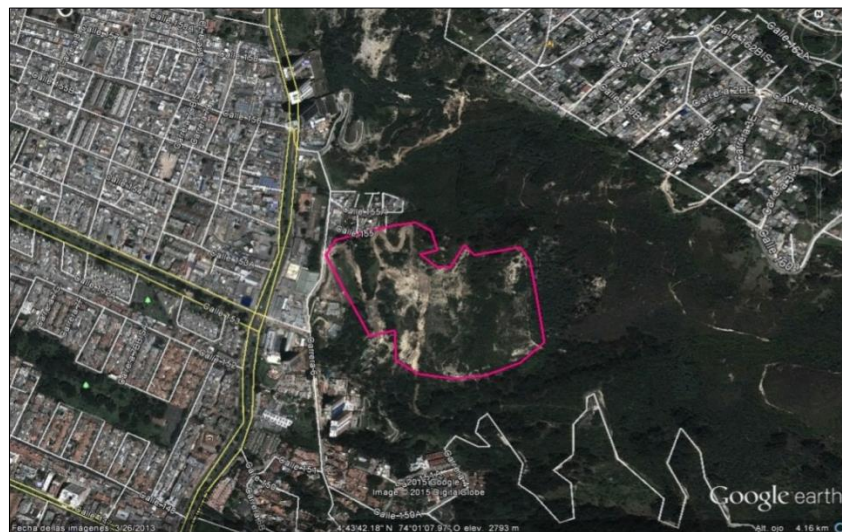
En dicho concepto se reportan las actividades programadas y cumplidas del PMRRA y los impactos generados, siendo los siguientes:

- Componente paisajístico: El impacto paisajístico que genera la Cantera

El Cedro – San Carlos es alto en el área de influencia directa, lo que específicamente genera el impacto es:

- El terreno es inestable, descapotado desprendimiento de bloques grandes, creando un impacto visual muy alto.
 - Generación de residuos en el área de la cantera como plásticos, latas, escombros, papel, etc.
 - Alto impacto visual en las comunidades cercanas a la cantera.
 - Este tipo de áreas originan zonas que permiten refugio de la delincuencia común afectando la seguridad social de las poblaciones.
- Programa de empradización, reforestación y revegetalización: Presentan técnicas de revegetalización y disposición de suelo orgánico sobre los taludes. Se complementan los programas de revegetalización aplicando los lineamientos Protocolo Distrital de Restauración Ecológica emitido por el DAMA hoy SDA. En la Figura 10 se puede apreciar la localización de la Cantera El Cedro.

Figura 10. Localización Cantera El Cedro.



Fuente. Google maps, 2015

7. Cantera El Milagro – Usaquén.

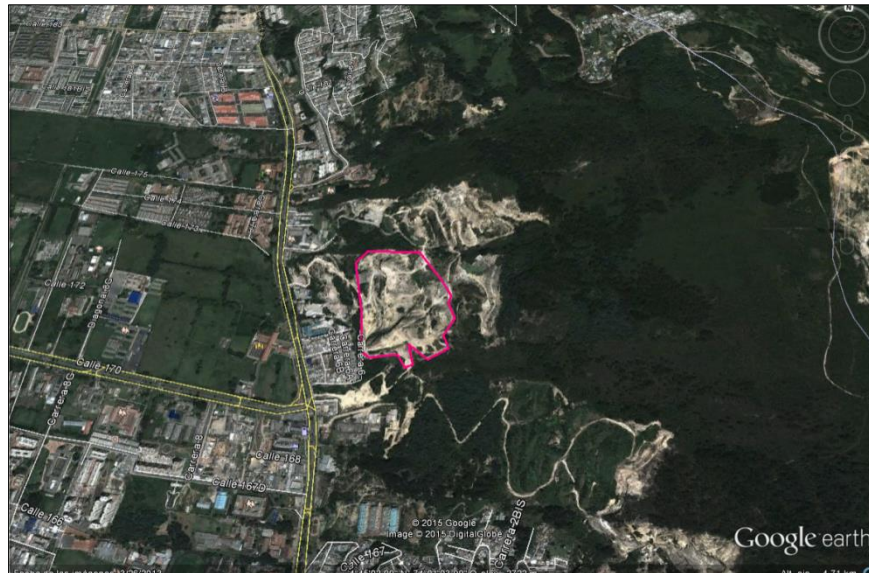
Información General: Los predios afectados por la antigua actividad extractiva de materiales de construcción de las Canteras La Laja y El Milagro se encuentran por fuera de las zonas compatibles con la actividad minera establecidas en el Artículo cuarto de la Resolución No. 222 del 03 de Agosto de 1994, y en zonas de recuperación morfológica, paisajística y/o ambiental del área afectada por la actividad extractiva, ubicados en la UPZ 10 – La Uribe de la Localidad de Usaquén del Distrito Capital de Bogotá.

Concepto Técnico: El 05 de febrero de 2014, la Secretaría Distrital de Ambiente emitió el concepto técnico No. 01054 para evaluar el complemento al Plan de Manejo, Recuperación y Restauración Ambiental – PMRRA de los predios afectados por la antigua actividad extractiva de materiales de construcción de las Canteras La Laja y El Milagro.

En dicho concepto se aprueba técnicamente el Plan de Manejo, Recuperación y Restauración Ambiental – PMRRA de los predios Canteras La Laja y El Milagro ya que cumplen con los términos de referencia establecidos por la Secretaría Distrital de Ambiente. Dichas canteras deben cumplir con el cronograma de actividades y se tiene presupuestado que para el segundo y tercer año del plan se haga la reubicación de la capa orgánica en taludes y bermas y se realice la empradización y plantación en bermas.

En la siguiente figura se puede observar la localización de la Cantera El Milagro.

Figura 11. Localización Cantera El Milagro



Fuente. Google maps, 2015

8. Cantera La Laja – Usaquén.

Información General: Los predios afectados por la antigua actividad extractiva de materiales de construcción de las Canteras La Laja y El Milagro se encuentran por fuera de las zonas compatibles con la actividad minera establecidas en el Artículo cuarto de la Resolución No. 222 del 03 de Agosto de 1994, y en zonas de recuperación morfológica, paisajística y/o ambiental del área afectada por la actividad extractiva, ubicados en la UPZ 10 – La Uribe de la Localidad de Usaquén del Distrito Capital de Bogotá.

Concepto Técnico: El 05 de febrero de 2014, la Secretaría Distrital de Ambiente emitió el concepto técnico No. 01054 para evaluar el complemento al Plan de Manejo, Recuperación y Restauración Ambiental – PMRRA de los predios afectados por la antigua actividad extractiva de materiales de construcción de las Canteras La Laja y El Milagro.

El 21 de enero de 2014, la Secretaría Distrital de Ambiente emitió un radicado al Proyecto Ecológico El Milagro S.A.S., para responder, corregir y complementar el Plan de Manejo, Recuperación y Restauración Ambiental – PMRRA. En dicho radicado se presentan las especificaciones del programa de monitoreo, en donde muestran el recurso, componente, parámetro, sitios de muestreo y frecuencia, tal y como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 2.Especificaciones del Programa de Monitoreo

RECURSO	COMPONENTE	PARÁMETRO	SITIOS DE MUESTREO	FRECUENCIA
VEGETACIÓN	Área de protección	Inventario Forestal	Áreas boscosas	CADA AÑO
	Deforestación	Inventario Forestal	Áreas que van a ser descapotadas	CADA (6) MESES
	Reforestación	Producción de plántulas y superficie plantada	Áreas reforestadas	CADA MES
PAISAJE	Intervención de áreas sensibles	Descapote, deforestación, construcciones, movimientos de tierra.	Áreas a intervenir para operaciones de adecuación o infraestructura de soporte	CADA MES
	Manejo integral del paisaje	Descapote, deforestación, construcciones, movimientos de tierra.	Áreas intervenidas por operaciones de adecuación morfológica.	CADA MES

Fuente. SDA, 2014

En la siguiente figura se puede observar la localización de la Cantera La Laja.

Figura 12. Localización Cantera La Laja



Fuente. Google maps, 2015

➤ **ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS BIOSÓLIDOS DE LA PTAR EL SALITRE.**

Para que los biosólidos puedan ser utilizados en las diferentes categorías de uso (Clase A y Clase B) tienen que cumplir una serie de reglamentaciones. Lo que se pretende en este numeral es mostrar las variables de caracterización de los biosólidos generados en la PTAR El Salitre y hacer una comparación de dichas variables con las regulaciones (valores máximos permisibles) del Decreto 1287 de 2014.

Las siguientes tablas muestran los parámetros físico-químicos y microbiológicos del biosólido generado en la PTAR El Salitre en el año 2013.

Tabla 3. Características físicas del biosólido

Parámetros	Diciembre de 2013	Promedio Histórico
Producción mensual (t)	3545	4165 ⁽³⁾
Producción media diaria (t/d)	114.4	136.9 (S=49.6) ⁽³⁾
Humedad prom. Biosólido patio PTAR (%)	70.9	68.8 (S=2.7) ⁽³⁾
Humedad biosólido patio El Corzo (%)	71	68 ⁽¹⁾
Densidad aparente húmeda (t/m ³)	0.82	0.82 (S=0.11) ⁽²⁾
Densidad de transporte (t/m ³)	1.25	1.25 (S=0.05) ⁽⁴⁾

Fuente. EAAB, 2013.

(1) Promedio según reporte lab. muestreo puntual desde oct. /09.

(2) Promedio desde ene. /06, excluyendo prueba de esfuerzo.

(3) Promedio ago/2001-mar/2006; mar/2007 a la fecha. No se incluyó el periodo comprendido entre abril 01 de 2006 a febrero 28 de 2007, puesto que correspondió al desarrollo de las pruebas de esfuerzo en la PTAR.

(4) Promedio desde enero de 2011

Tabla 4. Concentración de metales pesados del biosólido

Parámetro (mg/kg)	Resultados Muestra compuesta Diciembre 1-31	Mediana ene./04 – dic./13	Rango intercuartílico ene./04 – dic./13
Arsénico	14.33	11.08	(1.17 a 17.80)
Cadmio	0.63	5.69	(3.91 a 8.00)
Cobre	216.3	177.2	(143.5 a 212.4)
Cromo	49.00	75.86	(62.88 a 93.24)
Mercurio	3.40	2.74	(1.54 a 4.73)
Molibdeno	2.34	4.02	(0.01 a 4.57)
Níquel	47.98	38.81	(30.64 a 49.76)
Plomo	37.90	84.34	(60.65 a 100.30)
Selenio	10.40	4.09	(0.08 a 11.70)
Zinc	1128.61	1072.0	(953.7 a 1183.5)

Fuente. EAAB, 2013.

Notas: Resultados en base seca (mg/kg)

Tabla 5. Comparación de resultados concentración de metales pesados de biosólido vs Decreto 1287 de 2014

Parámetro (mg/kg)	Resultado Muestra compuesta Diciembre 1-31	Mediana ene./04 – dic./13	Rango intercuartílico ene./04 – dic./13	Valores máximos permisibles Colombia. Decreto 1287 de 2014	Categoría de biosólido
Arsénico	14.33	11.08	(1.17 a 17.80)	Clase A: 20.0 Clase B: 40.0	Categoría A
Cadmio	0.63	5.69	(3.91 a 8.00)	Clase A: 8.0 Clase B: 40.0	Categoría A
Cobre	216.3	177.2	(143.5 a 212.4)	Clase A: 1000.0 Clase B: 1750.0	Categoría A
Cromo	49.00	75.86	(62.88 a 93.24)	Clase A: 1000.0 Clase B: 1500.0	Categoría A

Parámetro (mg/kg)	Resultado Muestra compuesta Diciembre 1-31	Mediana ene./04 – dic./13	Rango intercuartílico ene./04 – dic./13	Valores máximos permisibles Colombia. Decreto 1287 de 2014	Categoría de biosólido
Mercurio	3.40	2.74	(1.54 a 4.73)	Clase A: 10.0 Clase B: 20.0	Categoría A
Molibdeno	2.34	4.02	(0.01 a 4.57)	Clase A: 18.0 Clase B: 75.0	Categoría A
Níquel	47.98	38.81	(30.64 a 49.76)	Clase A: 80.0 Clase B: 420.0	Categoría A
Plomo	37.90	84.34	(60.65 a 100.30)	Clase A: 300.0 Clase B: 400.0	Categoría A
Selenio	10.40	4.09	(0.08 a 11.70)	Clase A: 36.0 Clase B: 100.0	Categoría A
Zinc	1128.61	1072.0	(953.7 a 1183.5)	Clase A: 2000.0 Clase B: 2800.0	Categoría A

Fuente. Autores del Proyecto, 2015.

Notas: Resultados en base seca (mg/kg)

Tabla 6. Concentración microbiológica del biosólido

Parámetro	Unidad	Sitio de muestreo de biosólido	Resultado	Media Geométrica resultados jun. /2010-dic. /2013
Coliformes Fecales	UFC/g	PTAR El Salitre	3	4991
		El Corzo	141004	9759
Coliformes Totales	NMP/g	PTAR El Salitre	24	---
		El Corzo	4491730	
Salmonella sp.	NMP/4g	PTAR El Salitre	22.5	3.7
		El Corzo	1.0	1.6
Huevos de Helminto	HH/2g	PTAR El Salitre	133	42 ⁽¹⁾
		El Corzo	112	31 ⁽¹⁾
Huevos de Helminto Viables	HH/4g	PTAR El Salitre	Pendiente	23 ⁽¹⁾
		El Corzo	Pendiente	21 ⁽¹⁾
E. Coli	NMP/g	PTAR El Salitre	1	---
		El Corzo	No Requerido	

Fuente. EAAB, 2013.

Notas: (1) Promedio desde enero de 2013.

Tabla 7. Comparación de resultados concentración microbiológica del biosólido vs Decreto 1287 de 2014

Parámetro	Unidad	Sitio de muestreo de biosólido	Resultado	Media Geométrica resultados jun. /2010-dic. /2013	Valores máximos permisibles Colombia. Decreto 1287 de 2014	Categoría de biosólido
Coliformes Fecales	UFC/g	PTAR El Salitre	3	4991	Clase A: <1.00 E (+3) Clase B: <2.00 E (+6)	Categoría B
		El Corzo	141004	9759		
Coliformes Totales	NMP/g	PTAR El Salitre	24	---	No presenta	---
		El Corzo	4491730			

Huevos de Helminto	HH/2g	PTAR El Salitre	133	42 ⁽¹⁾	No presenta	—
		El Corzo	112	31 ⁽¹⁾		
Huevos de Helminto Viables	HH/4g	PTAR El Salitre	Pendiente	23 ⁽¹⁾	Clase A: <1.0 Clase B: <10.0	Ninguna de las dos
		El Corzo	Pendiente	21 ⁽¹⁾		
E. Coli	NMP/g	PTAR El Salitre	1	---	No presenta	—
		El Corzo	No Requerido			

Fuente. Autores del Proyecto, 2015.

Notas:

(1) Promedio desde enero de 2013.

Tabla 8. Concentraciones físico-químicas del biosólido

Tipo de muestra biosólido PTAR	Parámetro	Unid.	Biosólido (Dic. /2013)	Promedio histórico	Gallinaza desecada industrialmente ⁽¹⁾	Valores máximos permisibles Colombia. Decreto 1287 de 2014
Puntual	Nitrógeno Total	%	3.0	2.8	3.6 – 5.5	No presenta
	Nitrógeno Amoniacal	mg/kg	2347	3979	--	No presenta
	Nitratos	mg/kg	<0.004	39.8	--	No presenta
	Nitritos	mg/kg	3.680	1.559	--	No presenta
	pH	Unidad	8.4	7.8	--	No presenta
Compuesta	Fósforo	%	1.7	0.9	1.3-2.0	No presenta
	Potasio	%	0.2	0.2	1.2-2.0	No presenta
	Hierro	%	4.4	5.8	--	No presenta
	pH	Unidad	7.8	7.3	--	No presenta

Fuente. EAAB, 2013.

El Decreto 1287 de 2014 no presenta ningún tipo de reglamentación con respecto a las concentraciones físico-químicas del biosólido en muestras puntuales y compuestas.

Como se pudo observar en la Tabla 5 la concentración de metales pesados del biosólido cumple con las reglamentaciones del Decreto 1287 de 2014 para categoría A. No obstante, en cuanto a la concentración microbiológica (ver Tabla 7), el biosólido no cumple con los valores máximos permisibles para el parámetro huevos de helminto viables. Por consiguiente, el biosólido generado en la PTAR El Salitre se clasifica como Categoría B.

Ya que el biosólido generado en la PTAR El Salitre cumple con los valores máximos

permisibles para ser clasificado en la Categoría B, este puede destinarse para la recuperación, restauración y/o mejoramiento de suelos degradados y en actividades de revegetalización y paisajismo de escombreras.

No obstante, el Decreto 1287 de 2014 en su artículo 10 (Inaplicación de los biosólidos en el suelo), ítem h, prohíbe aplicar biosólidos clase B a menos de 300 metros de distancia de áreas residenciales urbanas, hospitales, locales de expendio de alimentos, escuelas y parques¹⁷. Por tal motivo, a pesar de que este biosólido puede ser utilizado para la recuperación de estos suelos degradados ya que técnicamente está clasificado como categoría B, la norma impide su uso, ya que de las doce canteras que cuentan con PMRRA más del 75% están ubicadas a menos de 300 metros de zonas residenciales urbanas.

➤ **ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO DE BIOSÓLIDO**

Partiendo del análisis anterior, en el cual se obtuvo que el biosólido que se genera en la planta de tratamiento del Salitre es de tipo B. A continuación se presenta un análisis de la posible utilización de estos en suelos degradados por canteras en la ciudad de Bogotá.

Tomando como base el Decreto 1287 de 2014, este plantea en su artículo 8 que para el biosólido categoría B, se tienen 10 posibles alternativas de utilización, una de ellas (literal C) plantea lo siguiente: “En la recuperación, restauración o mejoramiento de suelos degradados”. Lo anterior significa que los biosólidos de la planta El Salitre son avalados por la norma para ser utilizados como recuperadores de suelos degradados por la extracción minera que se realiza en Bogotá.

Así mismo, el artículo noveno de dicho Decreto presenta varias restricciones para

¹⁷COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDADY TERRITORIO. Decreto 1287 (10, Julio, 2014). Por el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento residuales municipales. Diario Oficial. Bogotá D.C. 2014. p 8.

el uso del suelo después de la aplicación de los biosólidos categoría B, estas restricciones van enfocadas al uso agrícola, forestal y/o ganadero; por lo tanto no se tendrán en cuenta para el presente análisis.

Por otro lado, en el artículo 10 se dan las restricciones de aplicación del biosólido, las cuales se tendrán en cuenta al momento del análisis respectivo de la aplicación del biosólido como agente recuperador de suelos degradados por canteras. A continuación se presentan dichas restricciones.

- a. En playas, páramos y cuerpos de agua.
- b. En suelos saturados como vegas.
- c. En suelos cuyo nivel freático máximo se encuentre a menos de 1 metro de profundidad con respecto a la superficie del terreno y en aquellos suelos en los que se genere un efecto de nivel freático colgante.
- d. En zonas aledañas a fuentes de captación subterráneas de agua para consumo humano o animal, en un radio inferior a cien (100) metros.
- e. En zonas aledañas a fuentes superficiales de captación de agua para consumo humano o animal, en una franja mínima de treinta (30) metros medidos en paralelas a las líneas de mareas máximas. En el caso de los nacimientos de fuentes de agua, en una extensión de por lo menos cien (100) metros a la redonda, medidos a partir de su periferia.
- f. En las zonas de rondas.
- g. Suelos con alto riesgo de inundación.
- h. Clase B, a menos de trescientos (300) metros de distancia de áreas residenciales urbanas, hospitales, locales de expendio de alimentos, escuelas y parques. Valores inferiores deberán ser soportados en estudios de impacto ante las Autoridades Ambientales Competentes.
- i. En suelo rural a menos de 100 metros de viviendas aisladas.
- j. En terrenos agrícolas en tasas mayores a la tasa agronómica, considerando la clase de cultivos en que sean empleados.

k. En suelos donde se encuentren especies de fauna y flora amenazados para la aplicación de biosólidos de categoría B.

- **Análisis de restricciones**

Una vez definidas las restricciones, se hace un análisis de estas en cada uno de los predios y se determina cuál de estos es el adecuado para el uso de biosólido.

Para los análisis de aplicación del biosólido, se toman como estudio de caso el predio Cantarra y Ladrillera Helios, los cuales fueron seleccionados por las notorias diferencias en sus ubicaciones, el primero ubicado en una zona netamente rural y el segundo en una zona más urbana. Ya definidos los dos escenarios se debe tener en cuenta las restricciones aplicables del artículo 10 del Decreto 1287 de 2014 y otro de los aspectos que restringe la utilización del biosólido, que es la denominada tasa máxima anual de aplicación (TMAA), dada en kg/ha-año, de metales que se podrán introducir al suelo. En la siguiente tabla se puede apreciar la TMAA del biosólido.

Tabla 9. Tasa Máxima Anual de Aplicación

Parámetro	Tasa Máxima Anual de Aplicación-TMAA Kg/Ha-año
Arsénico (As)	2,0
Cadmio (Cd)	1,9
Cobre (Cu)	75,0
Cromo (Cr)	150,0
Mercurio (Hg)	0,85
Níquel (Ni)	21,0
Plomo (Pb)	15,0
Selenio (Se)	5,0
Zinc (Zn)	140,0

Fuente. Decreto 1287 de 2014.

A partir de la Tabla 9, se realizan los cálculos de las tasas máximas anuales de

aplicación para el caso del predio Cantarrana y de Ladrillera Helios, tomando como referencia un área aproximada de cada predio, la cual se obtuvo por medio del *software* ArcGis. Para el predio Cantarrana, el área que se obtuvo fue de 13,6 hectáreas; en cuanto al predio de la Ladrillera Helios, son 53,1 hectáreas. La tabla 10 muestra la TMAA en los dos predios analizados.

Tabla 10. TMAA en los predios Cantarrana y Ladrillera Helios

Cantera	Parámetro	TMAA	Cantera	Parámetro	TMAA
Predio Cantarrana	Arsénico (As)	27,2	Ladrillera Helios	Arsénico (As)	106,2
	Cadmio (Cd)	25,84		Cadmio (Cd)	100,89
	Cobre (Cu)	1020		Cobre (Cu)	3982,5
	Cromo (Cr)	2040		Cromo (Cr)	7965
	Mercurio (Hg)	11,56		Mercurio (Hg)	45,135
	Níquel (Ni)	285,6		Níquel (Ni)	1115,1
	Plomo (Pb)	204		Plomo (Pb)	796,5
	Selenio (Se)	68		Selenio (Se)	265,5
	Zinc (Zn)	1904		Zinc (Zn)	7434

Fuente. Los autores del proyecto.2015.

Una vez definidas las TMAA de los predios objeto de estudio, se realiza un análisis de las restricciones de distancias establecidas en el Decreto, para lo cual a continuación se presentan las figuras que permiten evidenciar estas restricciones.

Ladrillera Helios

La Figura 13 muestra en color rosado el área aproximada de la ladrillera, la cual cuenta con una extensión de 53,1 hectáreas.

Figura 13. Escenario 1: Delimitación del predio.



Fuente. Los autores del proyecto, 2015

En la Figura 14, se presenta el primer análisis de restricciones, en este caso se hace un buffer de 100 metros (color amarillo) en el que se observa que varias de las casas del sector quedan por dentro de esta área de restricción.

Figura 14. Escenario 2: Restricción a 100 metros.



Fuente. Los autores del proyecto, 2015

Finalmente haciendo el análisis y la verificación de la restricción de 300 metros de áreas residenciales urbanas, hospitales, locales de expendio de alimentos, escuelas y parques; en la Figura 15 se puede observar que dentro del área demarcada en color verde queda gran parte del área residencial vecina a la ladrillera Helios, lo cual restringe el uso del biosólido para esta cantera.

Figura 15. Escenario 3: Restricción a 300 metros.



Fuente. Los autores del proyecto, 2015

Predio Cantarrana

La Figura 16 muestra en color rosado el área aproximada del predio, sin embargo se debe tener en cuenta lo estipulado en la Resolución 1019 del 23 de Febrero de 2011, mediante la cual se establece el PMRRA al predio Cantarrana, en donde se resuelve que el área de aplicación del mismo es de 310.235 m².

Figura 16. Escenario 1: Delimitación del predio.



Fuente. Los autores del proyecto, 2015

Al ser un predio ubicado en una zona rural, las restricciones a 100 (color amarillo) y 300 metros (color verde) respectivamente no se tienen en cuenta, puesto que no se

presentan ninguno de los siguientes espacios: áreas residenciales urbanas, hospitales, locales de expendio de alimentos, escuelas y parques. Lo anterior se puede visualizar en la siguiente figura.

Figura 17. Escenario 2 y 3: restricciones a 100 y 300 metros



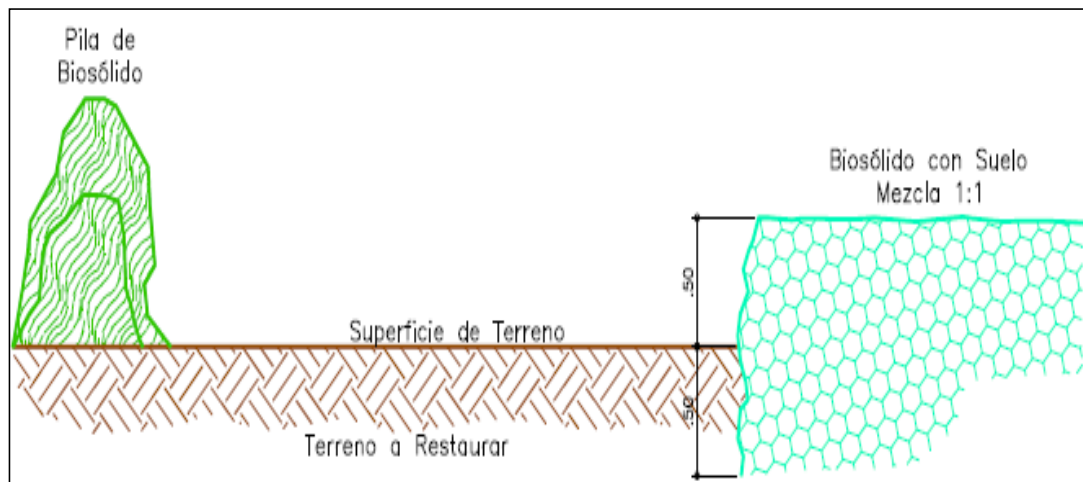
Fuente. Los autores del proyecto, 2015

Una vez definidas las TMAA y del análisis de restricción en cuanto a distancia de los predios Cantarrana y ladrillera Helios, se procede a determinar la cantidad de biosólido en base seca disponible para utilización en el predio Cantarrana, el cual luego del análisis de restricciones es el predio en el cual se puede utilizar el biosólido como agente recuperador de suelos degradados por actividades mineras en Bogotá.

La aplicación de biosólido en el predio Cantarrana se deberá realizar siguiendo la “Guía para el uso de biosólidos, clase B, en recuperación de suelos”, elaborada por Diana Alejandra Urrego Ocampo en el año 2014. La técnica de aplicación se resume en lo siguiente: se realizará una mezcla de suelo - biosólido que deberá tener una proporción de 1:1. La altura para la superficie final definida de acuerdo a las experiencias anteriormente mencionadas es de una profundidad de 0,5 m para

obtener la primera porción de mezcla y 0,5 sobre el terreno inicial, teniendo mezcla 1:1 con una capa final no mayor a 1 m, tal y como se observa en la siguiente figura.¹⁸Cabe aclarar que el uso de biosólido se utilizará como parte final del relleno y no como agente de estabilización geotécnica, ya que dadas sus características esto no es viable.

Figura 18. Aplicación biosólido



Fuente:Urrego D, 2014

Según informes de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, en el periodo comprendido entre el mes de Mayo de 2013 y mayo de 2014, en la PTAR El Salitre se generaron 50.525 toneladas de biosólido. Teniendo en cuenta este dato y que el biosólido presenta una relación 71% base líquida y 29% en base sólida, a continuación se presenta la cantidad en base seca de biosólido apta a utilizar como agente recuperador de los suelos del predio Cantarrana.

$$Biosólido\ seco = \frac{50.525\ Ton/año}{x} = \frac{100\%}{29\%}$$

¹⁸ URREGO OCAMPO, Diana. Guía para el uso de biosólidos en recuperación de suelos disturbados Bogotá .2014.

$$\text{Biosólido seco} = \frac{50.525 \times 29}{100} = 14.652,25 \text{ Ton/año}$$

Teniendo en cuenta el resultado del biosólido en base seca, se procede a sacar el volumen aproximado del mismo.

$$\text{Volumen} = \frac{14.652,25 \text{ ton/año}}{1.25 \text{ ton/m}^3} = 11,721.8 \text{ m}^3 / \text{año}$$

El volumen que debe ser rellenado en el predio Cantarrana, teniendo en cuenta un área de 31,02 hectáreas y 1 m de relleno (mezcla biosólido-suelo) es el siguiente:

$$\text{Volumen} = 31,02 \text{ hectarías} = \frac{10.000 \text{ m}^2}{1 \text{ hectárea}} = 310.200 \text{ m}^2 \times 1 \text{ m} = 310.200 \text{ m}^3$$

Luego de tener los 2 volúmenes y si la relación biosólido/suelo es 1:1, el tiempo estimado de llenado de la cantera es el siguiente:

$$\text{Tiempo} = \frac{310.200 \text{ m}^3}{23.443,6 \text{ m}^3/\text{año}} = 13,23 \text{ años}$$

Para realizar el transporte del material, tomando como referencia una volqueta de 18 m³, como la que se muestra en la Figura 19, la cantidad de viajes necesarios para el transporte serían los siguientes:

$$\text{Cantidad de viajes} = \frac{11.721,8 \text{ m}^3}{18 \text{ m}^3} = 651,16 \text{ viajes en 1 año}$$

Lo anterior significa que son necesarios 54 viajes mensuales y un aproximado de 13 viajes semanales para realizar el relleno del predio Cantarrana.

Figura 19. Volqueta tipo



Fuente.Camiones JAC, 2015

Ahora bien, teniendo en cuenta una distancia aproximada de 40 kilómetros entre la PTAR El Salitre y el predio Cantarrana, se procede a realizar un análisis del costo que tendría el traslado del biosólido. Tomando como referencia el banco de valores del INVIAS, se establece un valor aproximado de \$2.500 pesos el m³ de material por kilómetro recorrido. A partir de lo anterior se tiene:

El costo por viaje sería de:

$$18 \text{ m}^3 \times \$2.500 = \$45,000 \text{ por volqueta}$$

$$\$45.000 \times 40 \text{ kilometros} = \$ 1.800.000$$

El costo total por viaje es de aproximadamente \$1.800.000 y si tenemos en cuenta que mensualmente son 54 viajes para trasladar el biosólido, entonces tenemos un valor mensual de \$97.200.000, dicho esto, el uso de biosólido de la PTAR El Salitre para recuperar los suelos en el predio Cantarrana si bien es viable desde el punto de vista técnico, ambiental y legal, no lo es económicamente.

10. CONCLUSIONES

- De los 109 predios relacionados con explotación minera en la ciudad de Bogotá, 105 se encuentran en estado de suspensión al no tener título minero. De estos 105 predios, solamente ocho cuentan con Plan de Manejo, Recuperación y Restauración Ambiental (PMRRA).
- De acuerdo con el Decreto 1287 de 2014 y con las características fisicoquímicas y microbiológicas del biosólido generado en la planta de tratamiento de aguas residuales del Salitre, este se clasifica como tipo B.
- Los biosólidos son viables para la utilización como agente recuperador de suelos en el predio Cantarrana, el cual luego de un análisis no presenta ningún tipo de restricción para su aplicación, contrario a las demás canteras en las que su principal restricción es estar próximas a zonas urbanas residenciales.
- El uso de los biosólidos provenientes de la PTAR El Salitre, como recuperadores de suelos en el predio Cantarrana, es inviable desde el punto de vista económico, ya que se requieren más de \$ 97.000.000 millones de pesos mensuales para el traslado.
- La distancia entre el predio Cantarrana y la PTAR El Salitre es el factor que determina la inviabilidad del uso del biosólido en el mencionado predio.
- Para realizar el relleno del predio apto para el uso de biosólidos, son necesarios 13 años y un aproximado de 651 viajes cargados con biosólido en un camión de 18 m³.

11. RECOMENDACIONES

Después de verificar que el biosólido generado en la PTAR El Salitre es clasificado como Categoría B y con la finalidad de optimizar su uso en la recuperación de suelos degradados por proyectos mineros, se recomienda hacer el debido tratamiento a dicho biosólido hasta que cumpla los valores establecidos de la Categoría A, esto con el fin de que no exista ningún tipo de restricción para el uso de suelos.

En cuanto a los expedientes encontrados en la Secretaria Distrital de Ambiente sobre los predios que cuentan con PMRRA, es importante que estos se encuentren actualizados ya que existen varios con información de años anteriores.

Se recomienda a futuros investigadores que realicen un estudio similar en casos de minas o escombreras ubicadas en la sabana de Bogotá, en las cuales por su cercanía con la PTAR El Salitre pueden arrojar resultados más viables que los presentados en este estudio.

Asimismo es importante resaltar que existen otras alternativas de uso de biosólidos que puedan ser viables desde el punto de vista técnico, ambiental, legal y económico; lo que puede significar una apuesta interesante desde la perspectiva de la Gerencia Ambiental.

Por último, se recomienda a los propietarios de las canteras el uso de biosólidos para la recuperación de suelos degradados por la actividad extractiva de minerales

12. BIBLIOGRAFÍA

1. COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Decreto 1287 (10, Julio, 2014). Por el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento residuales municipales. Diario Oficial. Bogotá D.C. 2014. p 1-15.
2. DÁGUER G. Gian Paolo. Gestión de biosólidos en Colombia. Bogotá. 7p.
3. “Efectos negativos de la gran minería en la ciudad de Bogotá”. 02 de Septiembre de 2011. En:
(http://www.avanzarcolombia.com/index.php?option=com_content&view=article&id=592:efectos-negativos-de-la-gran-mineria-en-la-ciudad-de-bogota&catid=25:colombia&Itemid=27). Avanzarcolombia.
4. EMPRESA DE ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO Y ASEO DE BOGOTÁ. Planta de tratamiento de aguas residuales El Salitre. Informe mensual de actividades. Bogotá. 2014. 96 p.
5. “La minería en Bogotá no es mejor que en el resto del país”. Septiembre de 2011. En:
(http://www.observatorioambientalcar.co/archivos/1392840143laminerianejn_bogotanoesmejor..pdf). Grupo de Minería del Centro de Estudios del Trabajo.
6. “Minería en Bogotá: Las problemáticas están a la vuelta de la esquina”. Agosto de 2011. En: (<http://es.slideshare.net/pepitapereque/deslinde>). Fierro Morales, Julio.
7. SECRETARIA DISTRITAL DE AMBIENTE. Relación visitas y conceptos

técnicos de las organizaciones con predios afectados por la actividad extractiva de materiales de construcción. Perímetro urbano de Bogotá D.C. Bogotá D.C. 31 de Julio de 2014.

8. VÉLEZ ZULUAGA, Juan Alberto. Los biosólidos ¿una solución o un problema?.En: Producción + Limpia. Julio-Diciembre, 2007. Vol 2. No. 2. p. 57-71.